

博士論文審査報告

(論文題目)

Numerical Characterization and Development of the Dry Low NO_x High Hydrogen Content Fuel Micromix Combustion for Gas Turbine Applications
(ガスタービン向け高水素濃度燃料用低 NO_x マイクロミックス燃焼の数値解析と開発)

(申請者)

Haj Ayed, Anis ハッジ・アイエド, アニス

1. 論文内容の要旨

水素および合成ガス(水素リッチ)は、再生可能エネルギー源による製造方法と組み合わせれば、ガスタービンによる低エミッション発電の代替燃料として有望である。本研究は、定置用ガスタービンにおいてドライ(乾式)で低 NO_x な排出ガス条件の実現を目的として、水素および合成ガス燃料の利用を可能にする燃焼技術の開発に関するものである。水素の物理的特性は、天然ガスなど他の燃料とは大きく異なるため、既存のガスタービン燃焼システムをそのまま水素燃料または合成ガス燃料用のドライ低 NO_x (DLN) 燃焼システムとして適用することはできない。

本研究では、航空用として数年前にドイツで発明されたマイクロミックス(Micromix)燃焼法を利用している。空気と水素ガス燃料の流れを直交させて混合し、多数の微小な拡散火炎を実現するもので、微小火炎中の燃焼反応が極めて短い滞留時間内で行われるために、逆火に対して安全で低 NO_x 濃度の燃焼を可能にすることができるものである。

第1章は序論であり、水素および合成ガスの燃焼、NO_x 放出、マイクロミックス燃焼、流体数値解析、燃焼モデルなどについて説明している。

第2章では、基本になるマイクロミックス・バーナーの設計について、実験室規模での実験と数値流体力学(CFD)シミュレーションに基づいて特性の把握を行っている。その特性に基づいてマイクロミックス火炎の安定化の原理を解明し、設計指針を示している。また採用した CFD 手法について、マイクロミックス燃焼に関する基本的な物理現象を予測することのできる燃焼モデル、NO_x 生成モデルを明らかにしている。

第3章では、マイクロミックス・バーナーをより高いエネルギー密度に適合するために寸法拡大について数値解析を行い、各種の異なる幾何学的寸法について、流れ場の構造、火炎の安定性、火炎構造、温度分布および NO_x の排出濃度について検討している。その結果、大気圧条件下で低い NO_x 排出濃度を維持しながら、バーナーのエネルギー密度を約 11 倍に拡大することができることを示している。ま

た、拡大したバーナーを実験室規模で試験し、その結果が数値解析の結果を裏付けることを確認している。

さらに、拡大したバーナーについて、高い圧力への適用のため、火炎の最高温度を制御してNO_xの生成を減少させるため、各種の設計パラメータについて研究している。その結果、マイクロミックス火炎近傍の異なる渦システムのバランスをとることによって、高い圧力(10 bar)条件下でもNO_xの排出を低く抑えられることを示している。

第4章では、合成ガス燃料(水素+一酸化炭素)にマイクロミックス技術を適用するための研究を行っている。合成ガス燃料によるマイクロミックス燃焼についての各種の数値モデルについて評価および比較を行い、マイクロミックス火炎とNO_xの生成過程をシミュレーションするための適切なモデルを示している。また、合成ガス燃料による実験でも、純粋な水素燃料の場合と同様に低エミッション燃焼の可能性を示している。

第5章では、結言として以上のまとめおよび今後の展望を述べている。

2. 論文審査結果の要旨

水素および合成ガス(水素リッチ)は、ガスタービンによる低エミッション発電の代替燃料として有望である。本研究は、ガスタービンにおいてドライ(乾式)で低NO_xな排出ガス条件を実現し、水素および合成ガス燃料の利用を可能にする燃焼技術の開発に関するものである。水素の物理的特性は天然ガスなど他の燃料とは大きく異なるため、既存のガスタービン燃焼システムをそのまま適用することはできない。

本研究では、航空用として数年前に発明されたマイクロミックス燃焼法を利用している。空気と水素ガス燃料の流れを直交させて混合し、多数の微小な拡散火炎を実現するもので、微小火炎中の燃焼反応が極めて短い滞留時間内で行われるために、逆火に対して安全で低NO_x濃度の燃焼を可能にすることができる。

本研究では、まず、基本になるマイクロミックス・バーナーの設計について、実験室規模での実験と数値流体力学(CFD)シミュレーションに基づいて特性の把握を行っている。その特性に基づいてマイクロミックス火炎の安定化の原理を解明し、設計指針を示している。また採用したCFD手法について、マイクロミックス燃焼の基本的な物理現象を予測可能な燃焼モデル、NO_x生成モデルを明らかにしている。

つぎに、マイクロミックス・バーナーをより高いエネルギー密度に適合するために寸法拡大について数値解析を行い、大気圧条件下で低いNO_x排出濃度を維持しながら、バーナーのエネルギー密度を約11倍に拡大することができることを示している。また、拡大したバーナーを実験室規模で試験し、その結果が数値解析の結果を裏付けることを確認している。

さらに、拡大したバーナーについて、高い圧力への適用について研究し、マイクロミ

ックス火炎近傍の異なる渦システムのバランスを取ることによって、高い圧力(10 bar)条件下でも NO_x の排出を低く抑えられることを示している。

最後に、合成ガス燃料によるマイクロミックス燃焼について、各種の数値モデルについて評価および比較を行い、マイクロミックス火炎と NO_x の生成過程をシミュレーションするための適切なモデルを示している。また、合成ガス燃料による実験でも純粋な水素燃料の場合と同様に低 NO_x 燃焼の可能性を示している。

これらの研究成果は、水素を燃料とした低 NO_x 排出ガスの新しいガスタービンの実用化に大きく貢献するものである。

本研究内容に関する公表状況は、英文学術誌として6報(内筆頭著者5報)があり、学会においても学術的、工学的に高く評価されている。

よって本論文は博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。

また、平成29年 1月31日、論文内容およびそれに関連する事項について試問を行った結果、合格と判定した。

平成 29 年 2 月 15 日

主査 熊丸 博滋

印

副査 本田 逸郎

印

副査 浅見 敏彦

印

副査 杉本 隆雄

印